

金属の結晶粒界迂りと粒界構造との関連についての基礎的研究

著者	粉川 博之
号	729
発行年	1978
URL	http://hdl.handle.net/10097/9465

氏 名	こ 粉 川 ひろ ゆき 之
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 54 年 3 月 27 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 金属材料工学専攻
学 位 論 文 題 目	金属の結晶粒界じりと粒界構造との関連についての 基礎的研究
指 導 教 官	東北大学教授 辛島 誠一
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 辛島 誠一 東北大学教授 須藤 一 東北大学教授 木村 宏

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

多結晶金属の高温変形で見られる結晶粒界じりは、高温粒界破壊に対して非常に重要な役割を果たしていることが明らかにされてきている。一方、最近粒界構造すなわち粒界における原子配列に関する研究が進歩し、粒界じり現象を流界構造と結びつけた研究がなされてきており、その結果、粒界じりが粒界構造に非常に敏感に依存する現象であることが指摘されている。しかし、その詳細は現在のところ不明である。そこで本研究は、巨視的な粒界じり挙動と微視的な粒界構造との関連を明らかにし、粒界じり機構について検討を行うことを目的として行なわれた。

第 2 章 粒界じり挙動に関する研究

本章には、巨視的な粒界じり挙動について詳細に調べ、粒界じりに特徴的ないくつかの現象に關関して従来の研究ではまだ十分に明らかにされていない点について検討を行った結果について述べてある。

アルミニウム粗大結晶粒試料および双結晶試料の高温クリープ変形（温度 700 および 800 K，応力 0.5～2 MPa）中における粒界じり挙動を調べ、次の結果を得た。

(1) 粗大結晶粒試料中においても、顕著な粒界じりの粒界方位差依存性が認められた。すなわち、図 1 に見られるようにランダム粒界 (G.B. No. 42, 43) では粒界じり量が大きく、対応方

位関係に近い粒界 (G.B. No. 41, 46) では小さかった。

(2) 粒界じりと結晶変形との関係は、従来報告されているような直線関係にはなく、図2に見られるように結晶変形とともに粒界じりの結晶変形依存度が低下する傾向を示した。また、単位結晶変形量当りの平均粒界じり量は、対応方位関係に近い粒界に比べてランダム粒界の方が大きかった。

(3) 粒界じり硬化の度合は、対応方位関係に近い粒界では大きくランダム粒界では小さかった。

以上の結果はいずれも、粒界面上の転位運動に基づく粒界じりモデルで定性的には説明することができる。また、粒界じり挙動におけるランダム粒界と対応方位関係に近い粒界との間の大きな違いは、主に格子転位の吸収速度の差によるものと考えられる。

第3章 粒界じりの組織学的研究

粒界じり挙動と粒界構造との関連についての微視的な検討を行うために、透過電子顕微鏡を用いて組織学的な研究を行ったところ、次の結果が得られた。

(1) 高温クリープ変形 (温度 600 K, 応力 3 および 5 MPa) 後の粒界組織は大きく2つに分けられた。すなわち、写真1(a)のように対応方位関係に近い粒界上には多くの extrinsic な粒界転位 (以後 EGBD と呼ぶ) が観察され、写真1(b)のようにランダム粒界上には観察されなかった。これらの EGBD は結晶変形によって粒界に導入された格子転位であると考えられる。

(2) 粒界じり挙動の既知な粒界の組織を調べたところ、対応方位関係に近い粒界は粒界じり量が小さく、EGBD が多く観察され (写真2(a))、粒界とつながった亜粒界が観察された。一方、ランダム粒界は粒界じり量が大きく、EGBD は観察されず (写真2(b))、また粒界とつながった亜粒界も観察されなかった。

(3) 粒界じりの進行に伴う粒界組織変化を調べたところ、粒界じり過程の初期段階で観察されなかった粒界上の線状組織が、粒界じり量が大きくなると観察された。また、粒界じりの進行に伴って粒界とつながった亜粒界の形成が見られ、粒界は亜粒界と交わったところで曲げられていた。

(4) 粒界じりの進行に伴って粒界方位差が変化してゆき、単位クリープ歪当りの粒界方位差変化量はクリープ歪とともに増加した。

以上の結果はいずれも、結晶変形によって粒界に導入された格子転位が粒界構造転位 (以後 IGBD と呼ぶ) に分解し、IGBD が粒界面上を運動することによって粒界じりが生じるとするモデルで説明することができる。

本章において、巨視的な粒界じり挙動と微視的な粒界組織および粒界構造との結びつきが明らかにされ、対応方位関係に近い粒界とランダム粒界の粒界じり挙動の差および粒界組織の差はいずれも両者の格子転位吸収速度の違いで説明できた。また、粒界じり硬化は粒界面上の格子転位 (IGBD) の増加および粒界とつながった亜粒界の存在によって IGBD の運動が妨げられることに主な原因があるのではないかと考えられる。このように第2章で巨視的な立場から議論された粒界じり機構に対して、本章で微視的な裏付けがなされたものと思われる。

第4章 粒界への格子転位吸収過程に対する理論的考察

第2および3章の結果から、粒界にりに対して粒界への格子転位吸収過程が非常に重要な役割を果たしていると考えられる。すなわち、格子転位はIGBDに分解して粒界にりを起こす働きをする一方、EGBDおよび亜粒界となって粒界にりを妨げる働きをする。この相反する働きのうちいずれが大きくなるかは、粒界が格子転位を吸収し易いかどうかによるものと考えられる。そこで本章では、粒界への格子転位吸収過程に対してエネルギー論的な検討を行い、先に考察を行った粒界にり機構の妥当性を確かめ、さらに他の粒界現象への寄与について言及している。

粒界への格子転位吸収の素過程を格子転位が粒界構造転位(IGBD)に分解する過程であると考え、FCCおよびBCC結晶の $\Sigma 19$ までの対応粒界に対して対応粒界論から導かれるIGBDに格子転位が分解する際の反応式を導出し、それらの反応式を用いて分解反応に際しての弾性エネルギー変化を求めた。その結果は以下のとおりである。

(1) 分解反応の際の転位の弾性エネルギー減少量から吸収の難易を検討した結果、おおまかには Σ 値の増加とともに吸収が容易になる傾向が見られた。とくに注目すべきことは、同じ Σ 値の対応粒界でも格子転位のバーガス・ベクトルによって吸収の難易が大きく異なるということであり、このことから吸収反応の応力軸方位依存性が示唆される。

(2) 粒界が格子転位を吸収し易い程粒界にりを起こし易いとする、粒界の格子転位吸収反応に異方性があることが考えられることから、粒界にり挙動にも同様の応力軸方位依存性の存在が示唆される。

本章では対応方位関係あるいはそれに近い粒界について計算を行ったが、ランダム粒界は Σ 値の高い対応粒界と考えられ、本章の結果から類推してランダム粒界においても吸収反応に対する同様な異方性があるのではないかと推察される。

第5章 結 論

本章には本研究の総括および粒界にりに関する研究に対する今後の課題について述べてある。

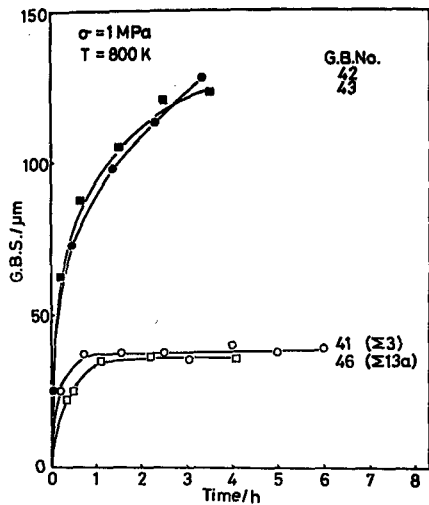


図 1. アルミニウム粗大結晶粒試料の粒
界 migr 曲線

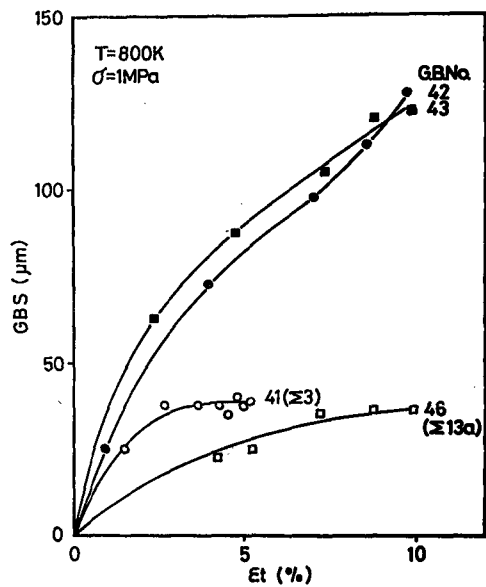
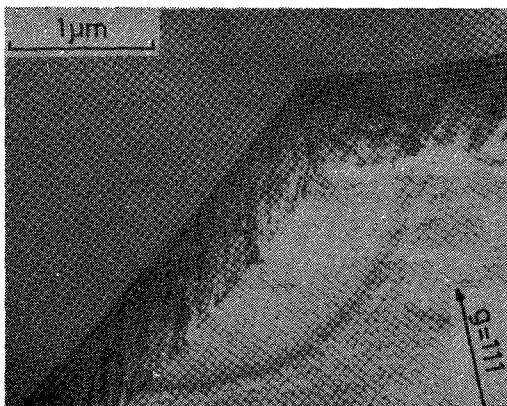
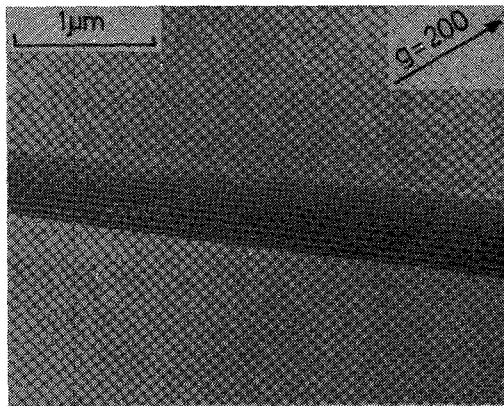


図 2. アルミニウム粗大結晶粒試料の粒
界 migr 量とクリープ歪との関係



(a)

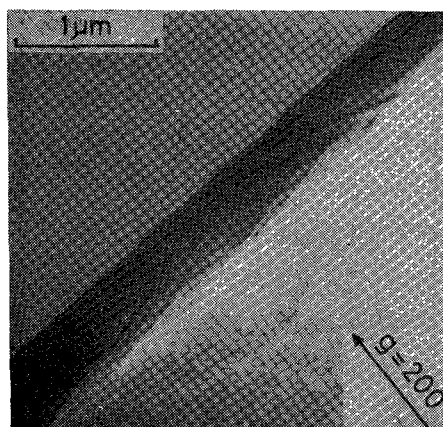


(b)

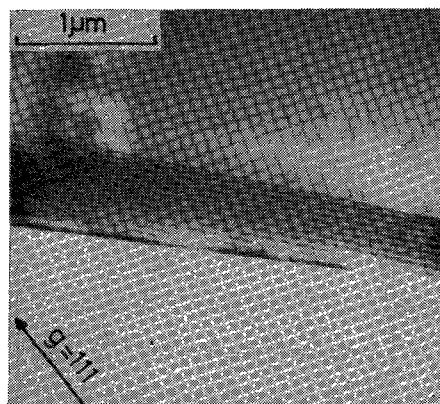
写真 1. 高温クリープ変形後のアルミニウム多結晶試料中の粒界組織

(a) $\Sigma 13$ b 対応方位関係に近い粒界および小角度粒界

(b) ランダム粒界



(a)



(b)

写真 2. 粒界にり挙動の既知な粒界の組織

(a) $\Sigma 13a$ 対応方位関係に近い粒界

(b) ランダム粒界

審 査 結 果 の 要 旨

高温変形時におこる結晶粒界じりは粒界破壊の原因ともなる重要な現象であるが、その機構については不明なところが多い。また巨視的流界じり挙動を微視的粒界じり機構と結びつけて系統的に検討した研究は全くなされていない。本論文は粒界じりと粒界構造との関連を追求して粒界じり機構を解明する目的で、種々の結晶粒界における粒界じり挙動を詳細にしらべると共に、それらの粒界の透過電子顕微鏡観察を行った結果をまとめたもので、全編5章からなる。

第1章は緒論で、従来の研究の概要および本研究の意義、目的が述べられている。

第2章ではアルミニウム粗大結晶、双結晶試料について高温クリープ変形中の粒界じり挙動をしらべた結果を述べている。粒界じり量、粒界じり硬化とも粒界構造によって顕著な差が認められることを見出している。すなわち、対応方位関係に近い粒界では粒界じりがおこりにくく顕著な粒界じり硬化を示すが、ランダム粒界では粒界じりが容易でしかも粒界じり硬化が小さいことを確かめている。

第3章では前章で粒界じり挙動のしらべられた粒界の透過電子顕微鏡観察を行った結果を述べている。対応方位関係に近い粒界では粒界上に格子転位が多くみられまた粒界とつながった亜粒界の形成がみられたが、ランダム粒界ではそのいずれもみられないことを示している。この結果は格子転位が粒界面上で粒界構造転位に分解する吸収過程が、粒界じりに重要な役割を果していること、および亜粒界や粒界面上にとり残された格子転位が粒界じり硬化の原因となっていることを示唆するものである。

第4章では粒界じりの素過程と考えられる粒界への格子転位の吸収過程について、エネルギー論的な考察を行っている。その結果から粒界面上での格子転位の吸収反応および粒界じり量の応力軸方位依存性を解析している。

第5章は総括である。

以上要するに、本論文は巨視的粒界じり挙動と微視的粒界構造との関連に注目して粒界じり機構を解明し、結晶変形によって粒界に達した格子転位が粒界面上で粒界構造転位に分解して、粒界面上を運動することが粒界じりに重要な役割を演じていることを明らかにしたもので、その成果は金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。